



Электронное научное издание  
«Ученые заметки ТОГУ»  
2014, Том 5, № 3, С. 63 – 71

Свидетельство  
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010  
[http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/  
ejournal@pnu.edu.ru](http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/ejournal@pnu.edu.ru)

УДК 674.416

© 2014 г. Н. О. Бегункова,

С. П. Исаев, д-р техн. наук,

О. И. Бегунков, канд. техн. наук

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ КРАТНЫХ ИНТЕГРАЛОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫХОДА СТРОГАНОГО ШПОНА

Предложена методика определения объемного выхода строганого шпона. Необходимость применять такие методики обусловлена возможностью сегодня оценить форму каждого бревна перед раскроем, смоделировать раскрой и выполнить предварительные расчеты ожидаемого объемного выхода шпона.

**Ключевые слова:** строганный шпон, способ раскроя, выход шпона, методика расчета, кряж.

N. O. Begunkova, S. P. Isaev, O. I. Begunkov

## APPLICATION OF THE THEORY OF MULTIPLE INTEGRALS FOR CALCULATING YIELD OF SLICED VENEER

The methodology for defining volume yield of sliced veneer is presented. The need to use such methods is stipulated by a possibility to evaluate shape of each log prior to sawing, to simulate sawing and make pre-calculations of expected volume of veneer yield.

**Keywords:** sliced veneer, cutting method, veneer yield, calculation method, log.

Современное состояние производства мебели характеризуется широким использованием синтетических облицовочных материалов. Однако, несмотря на постоянно возрастающее количество и качество синтетических облицовочных материалов, альтернативы облицовочным материалам из натуральной древесины сегодня нет. Это в первую очередь строганный шпон, который на протяжении достаточно длительного периода являлся основным облицовочным материалом. На территории Дальнего Востока выпуск строганого шпона был ориентирован на использование традиционных лиственных пород древесины (ясень, дуб и др.), эксплуатационный запас которых в лесном фонде Дальневосточного федерального округа в настоящее время сократился и составляет около 6 %.

Лучшим заменителем древесины этих пород при облицовывании деталей мебели может быть лиственница, запас которой в дальневосточных лесах составляет 65,2 %. Однако за последние 20 лет ситуация изменилась. Не только сократились запасы ясеня, дуба, но и существенно уменьшился средний диаметр лиственницы.

Один из путей повышения эффективности использования древесины – это повышение выхода шпона и снижение материалоемкости продукции.

Выход шпона зависит от многих факторов: породы, диаметра кряжей, толщины отступов и способов их переработки, схемы продольного раскроя и других причин, связанных с особенностями технологического процесса.

При определении выхода строганого шпона, как правило, используются нормативы расхода сырья, получаемые экспериментальным путем, отличающимся высокой трудоемкостью, и дающие усредненные данные. В связи с этим был предложен способ расчета выхода строганого (сырого) шпона, основанный на использовании теории кратных интегралов и математического пакета «Mathcad 14» [1].

Для этого были сделаны следующие допущения:

- 1) форма кряжа – усеченный круговой конус;
- 2) припуск на усушку и прирубку шпона по ширине постоянен и равен 15 мм;
- 3) за основу принимается кряжевой способ разделки фанерного сырья;
- 4) минимальная ширина шпона – ширина шпона в вершинном торце;
- 5) отходы на опилки, образующиеся при продольном раскрое, и на срезки, образующиеся при выравнивании заготовок, учитываются в объеме соответствующих горбылей.

Предложенная в работе [1] методика расчета и аналитическое решение выхода строганого шпона из кряжа базируется на вычитании объемов отдельных частей, которые образуются при раскрое и идут в отходы, из объема всего кряжа.

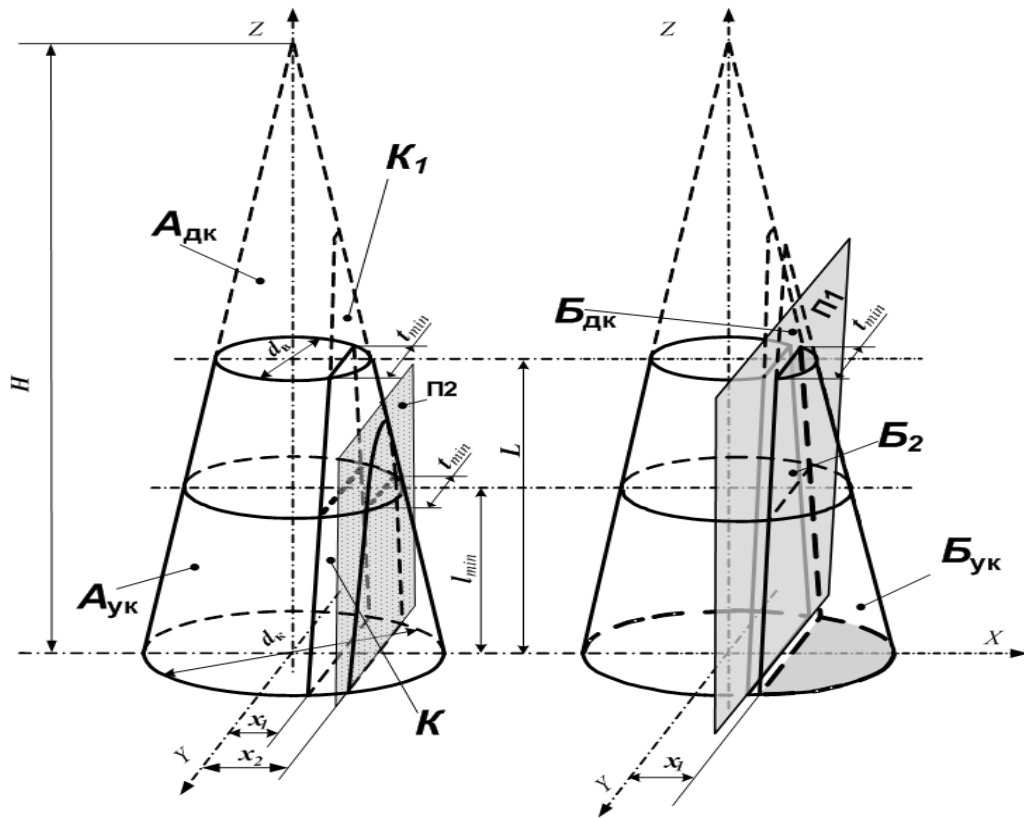
Объем древесины для получения шпона при раскрое кряжа определялся по следующим вариантам: разделка кряжей на заготовки при распиловке параллельно его оси и параллельно его образующей; с использованием и без использования сбеговой зоны.

Схемы для определения объемов различных фигур и способы раскроя кряжа представлены на рисунках 1 и 2.

Объем  $V_{др}^{oc}$  древесины для получения шпона при раскрое кряжа параллельно оси предлагается рассчитывать по формуле:

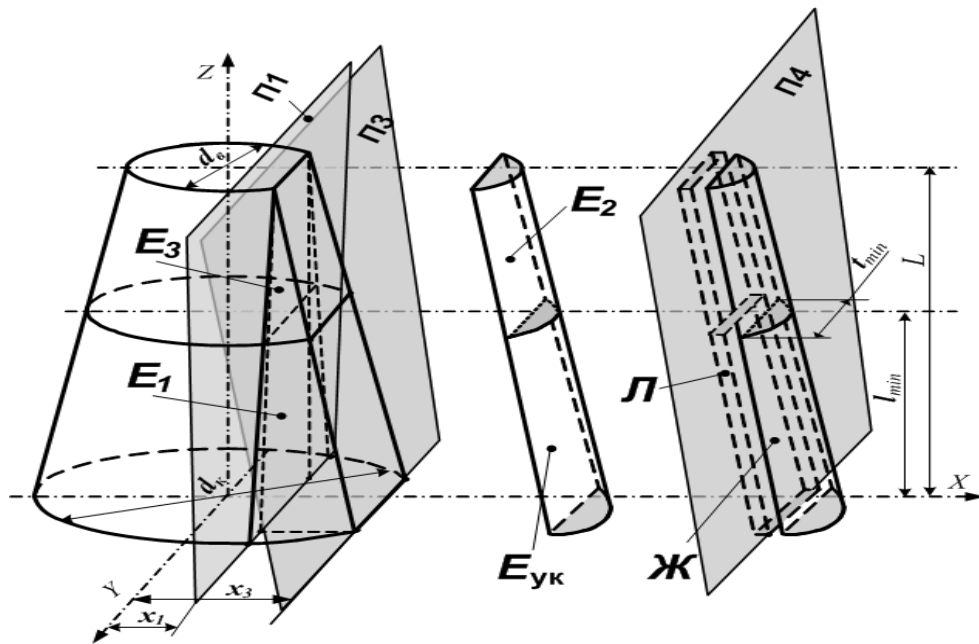
$$V_{др}^{oc} = \frac{\pi L}{12} (d_b^2 + d_b \cdot d_k + d_k^2) - 2(V_{B_{ук}} - V_K), \quad (1)$$

где  $d_k$ ,  $d_b$  – диаметр кряжа соответственно в комле и в вершине;  $L$  – длина кряжа, определяющая высоту усеченного конуса  $A_{ук}$ ,  $V_{B_{ук}}$  – объем горбыля  $B_{ук}$ ,  $V_K$  – объем части  $K$  усеченного конуса  $A_{ук}$ .



$A_{ук}$  – усеченный конус;  $A_{дк}$  – «достраиваемый» конус;  $B_{ук}$ ,  $B_2$ ,  $K$  – части усеченного конуса  $A_{ук}$ ;  $B_{дк}$  – часть «достраиваемого» конуса  $A_{дк}$ ;  $K_1$  – часть полного конуса ( $A_{ук} + A_{дк}$ );  $P_1$ ,  $P_2$  – плоскости, проходящие параллельно оси кривая

Рис. 1. Схемы для определения объемов различных фигур при раскрое кривая



$E_{ук}$ ,  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $Ж$ ,  $Л$  – части усеченного конуса  $A_{ук}$ ;  $P_1$  – плоскость, проходящая параллельно оси кривая;  $P_3$ ,  $P_4$  – плоскости, проходящие параллельно сбегу кривая

Рис. 2. Схемы раскроя кривая для расчета выхода шпона

При этом объем  $V_{B_{\text{ук}}}$  горбыля  $B_{\text{ук}}$ , полученного с помощью сечения плоскостью  $\Pi_1$ , проходящей параллельно оси кряжа (рис. 1), определяется как:

$$V_{B_{\text{ук}}} = \int_{x_1}^{\frac{d_{\text{к}}}{2}} \int_{-\frac{\sqrt{d_{\text{к}}^2-4x^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{d_{\text{к}}^2-4x^2}}{2}} \int_0^{H-\frac{2H}{d_{\text{к}}}\sqrt{x^2+y^2}} dz dy dx - \int_{x_1}^{\frac{d_{\text{в}}}{2}} \int_{-\frac{\sqrt{d_{\text{в}}^2-4x^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{d_{\text{в}}^2-4x^2}}{2}} \int_0^{H-L-\frac{2(H-L)}{d_{\text{в}}}\sqrt{x^2+y^2}} dz dy dx ,$$

где  $x_1$  – расстояние от оси кряжа до плоскости резания  $\Pi_1$ ;  $H$  – высота конуса.

Объем  $V_K$  части  $K$  усеченного конуса  $A_{\text{ук}}$  можно определить по формуле:

$$V_K = \int_{x_1}^{x_2} \int_{-\frac{\sqrt{d_{\text{к}}^2-4x^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{d_{\text{к}}^2-4x^2}}{2}} \int_0^{H-\frac{2H}{d_{\text{к}}}\sqrt{x^2+y^2}} dz dy dx - \int_{x_1}^{x_2} \int_{-\frac{\sqrt{d_{\text{мин}}^2-4x^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{d_{\text{мин}}^2-4x^2}}{2}} \int_0^{H-l_{\text{мин}}-\frac{2(H-l_{\text{мин}})}{d_{\text{мин}}}\sqrt{x^2+y^2}} dz dy dx ,$$

где  $x_2$  – расстояние от оси кряжа до плоскости резания  $\Pi_2$ ;  $d_{\text{мин}}$  – диаметр кряжа на высоте  $l_{\text{мин}}$  от комля;  $l_{\text{мин}}$  соответствует минимальной длине листа шпона по ГОСТ 2977-82.

Формула (1) учитывает в объеме древесины шпон, который может быть получен из сбеговой зоны кряжа. Если при раскрое сбеговая зона не используется, то объем древесины для получения шпона вычисляется как:

$$V_{\text{др}}^{\text{ос}} = \frac{\pi L}{12} (d_{\text{в}}^2 + d_{\text{в}} \cdot d_{\text{к}} + d_{\text{к}}^2) - 2V_{B_{\text{ук}}} .$$

Объем  $V_{\text{др}}^{\text{сб}}$  древесины для получения шпона при раскрое параллельно сбегу с учетом дополнительного выхода  $V_L$  со сбеговой зоны, можно определить по формуле:

$$V_{\text{др}}^{\text{сб}} = \frac{\pi L}{12} (d_{\text{в}}^2 + d_{\text{в}} \cdot d_{\text{к}} + d_{\text{к}}^2) - 2(V_{E_{\text{ук}}} - V_L) ,$$

где  $V_{E_{\text{ук}}}$  – объем горбыля  $E_{\text{ук}}$ , полученного с помощью сечения плоскостью  $\Pi_3$  параллельно сбегу кряжа (рис. 2).

При этом объем  $V_{E_{\text{ук}}}$  находится как:

$$V_{E_{\text{ук}}} = V_{B_{\text{ук}}} - \left( \int_{x_1}^{x_3} \int_{-\frac{\sqrt{d_{\text{к}}^2-4x_3^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{d_{\text{к}}^2-4x_3^2}}{2}} \int_0^{\frac{L(x_3-x)}{x_3-x_1}} dz dy dx + 2 \int_{x_1}^{x_3} \int_{-\frac{\sqrt{d_{\text{к}}^2-4x_3^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{d_{\text{к}}^2-4x_3^2}}{2}} \int_0^{H-\frac{2H}{d_{\text{к}}}\sqrt{x^2+y^2}} dz dy dx \right) ,$$

где  $x_3$  – расстояние от оси кряжа до пересечения плоскости  $\Pi_3$  с осью  $X$ .

Если сбеговая зона не используется при раскрое параллельно сбегу, то объем древесины для получения шпона можно вычислить по формуле:

$$V_{\text{др}}^{\text{сб}} = \frac{\pi L}{12} (d_{\text{в}}^2 + d_{\text{в}} \cdot d_{\text{к}} + d_{\text{к}}^2) - 2V_{E_{\text{ук}}} .$$

Однако при изготовлении строганого шпона образуются различные виды отходов. Существенную долю среди них имеет отструг, методика учета которого в объемном выходе шпона предлагается ниже.

Схема для определения объема отструга при раскрое параллельно оси кряжа представлена на рисунке 3.

При таком способе раскроя кряжа отструг схож по форме с обелиском, две противоположные боковые грани которого имеют криволинейную поверхность, а одинаковые по ширине основания лежат в плоскостях  $z = 0$  и  $z = L$  (рис. 3). Объем  $V_{\text{отс}}^{\text{ос}}$  отструга (рис. 3) в данном случае определяется по формуле:

$$V_{\text{отс}}^{\text{oc}} = V_{\text{пд}} + 2V_{\Gamma p}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{пд}}$  – объем параллелепипеда  $T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8$ ;  $V_{\Gamma p}$  – объем горбыля  $\Gamma p$ .

При заданной толщине  $h_{\text{отс}}$  отступа по оси Хотструг ограничен плоскостями  $x = -x_{\text{отс}} = -\frac{h_{\text{отс}}}{2}$  и  $x = x_{\text{отс}} = \frac{h_{\text{отс}}}{2}$ ; по оси  $Y$  – поверхностью конуса; по оси  $Z$  – плоскостями  $z = 0$  и  $z = L$  (рис. 3).

Ширина и высота параллелепипеда  $T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8$  известны. Его длину  $|T_5 T_8|$  можно найти по формуле:

$$|T_5 T_8| = 2 \frac{\sqrt{d_{\text{в}}^2 - 4x_{\text{отс}}^2}}{2} = \sqrt{d_{\text{в}}^2 - 4x_{\text{отс}}^2}.$$

Тогда объем параллелепипеда  $T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8$  рассчитывается как:

$$V_{\text{пд}} = 2L \cdot x_{\text{отс}} \sqrt{d_{\text{в}}^2 - 4x_{\text{отс}}^2}. \quad (3)$$

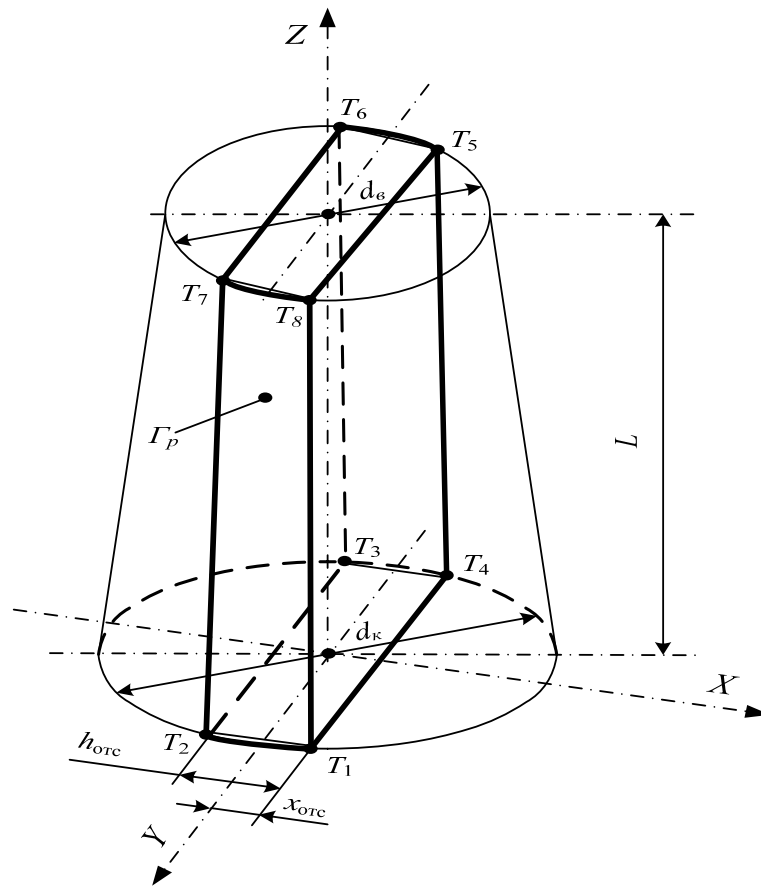


Рис. 3. Схема для определения объема отступа при раскрое параллельно оси кряжа

Учитывая симметричность горбыля  $\Gamma p$  относительно оси  $X$ , его объем  $V_{\Gamma p}$  вычисляется по формуле:

$$V_{\Gamma p} = 2 \left( \int_0^{x_{\text{отс}}} \int_{\frac{\sqrt{d_{\text{в}}^2 - 4x^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{d_{\text{к}}^2 - 4x^2}}{2}} \int_0^{H - \frac{2H}{d_{\text{к}}} \sqrt{x^2 + y^2}} dz dy dx - \int_0^{x_{\text{отс}}} \int_{\frac{\sqrt{d_{\text{в}}^2 - 4x_{\text{отс}}^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{d_{\text{в}}^2 - 4x^2}}{2}} \int_0^{H - L - \frac{2(H-L)}{d_{\text{в}}} \sqrt{x^2 + y^2}} dz dy dx \right). \quad (4)$$

Таким образом, применяя выражения (3) и (4), по формуле (2) рассчитывается объем  $V_{отс}^{oc}$  отстура. В зависимости от того, используется или нет при раскросе параллельно оси кряжсбеговая зона, находится выход шпона  $V_{шпн}^{oc}$  с учетом отходов на отструг. Если сбеговая зона кряжа используется, то выход шпона определяется как:

$$V_{шпн}^{oc} = \frac{\pi L}{12} (d_B^2 + d_B \cdot d_K + d_K^2) - 2(V_{B_{ук}} - V_K) - V_{отс}^{oc}.$$

Если сбеговая зона не используется, то выход шпона вычисляется по формуле:

$$V_{шпн}^{oc} = \frac{\pi L}{12} (d_B^2 + d_B \cdot d_K + d_K^2) - 2V_{B_{ук}} - V_{отс}^{oc}.$$

В случае, когда кряж раскраивается параллельно сбегу, отструг также имеет форму обелиска (рис. 4), две противоположные боковые грани которого являются криволинейными поверхностями, а расположенное в плоскости  $z = 0$  нижнее основание по ширине превышает верхнее основание обелиска, лежащее в плоскости  $z = L$ . Объем  $V_{отс}^{cb}$  отстура (рис. 4) рассчитывается как:

$$V_{отс}^{cb} = V_{обл} + 2V_{Грс}, \tag{5}$$

где  $V_{обл}$  – объем обелиска  $D_1 D_2 D_3 D_4 D_5 D_6 D_7 D_8$ ;  $V_{Грс}$  – объем горбыля  $Грс$ .

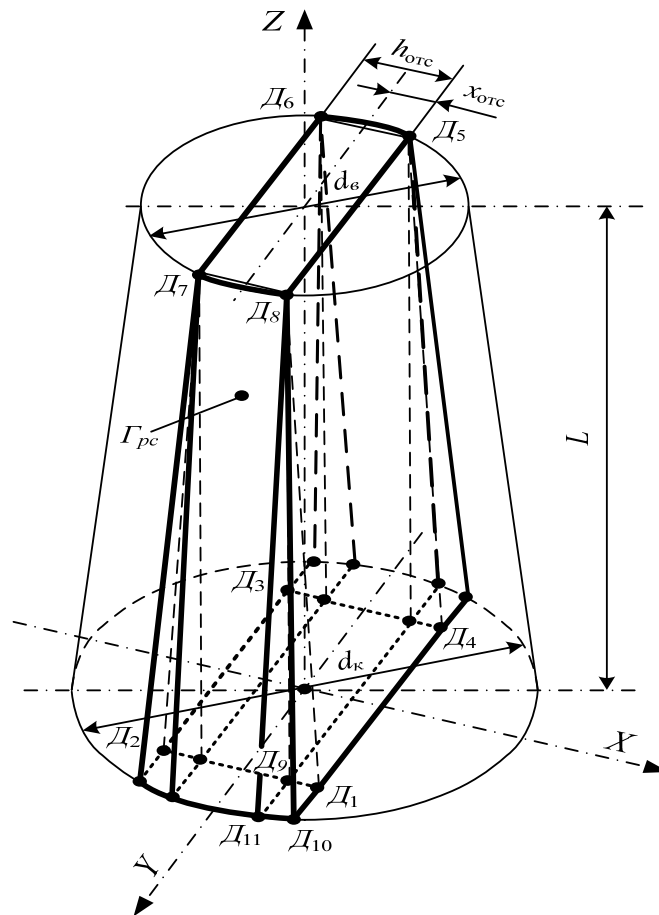


Рис. 4. Схема для определения отстура при раскросе параллельно сбегу кряжа

Если известна толщина  $h_{отс}$  отстура в вершинной части кряжа, то по оси Хотструг ограничен двумя параллельными сбегу кряжа плоскостями, которые пересекают-

ся с плоскостью  $z = L$  по прямым  $x = -x_{отс} = -\frac{h_{отс}}{2}$  и  $x = x_{отс} = \frac{h_{отс}}{2}$ ; по оси  $Y$  – поверхностью конуса; по оси  $Z$  – плоскостями  $z = 0$  и  $z = L$  (рис. 4).

Для вычисления объема обелиска  $D_1D_2D_3D_4D_5D_6D_7D_8$  необходимо определить длину и ширину его верхнего и нижнего оснований. Ширина  $|D_7D_8|$  верхнего основания равна толщине отструга  $h_{отс} = 2x_{отс}$ . Грань  $D_1D_4D_5D_8$  параллельна сбегу кряжа, поэтому ширина  $|D_1D_2|$  нижнего основания составляет:

$$|D_1D_2| = 2\left(\frac{d_k}{2} - \frac{d_b}{2} + x_{отс}\right).$$

Длины  $|D_5D_8|$  и  $|D_1D_4|$  соответственно верхнего и нижнего оснований обелиска равны и определяются по формуле (2.45). Следовательно, объем обелиска  $D_1D_2D_3D_4D_5D_6D_7D_8$  вычисляется как:

$$V_{обл} = \frac{L}{2} \cdot (d_k - d_b + 4x_{отс}) \sqrt{d_b^2 - 4x_{отс}^2}. \quad (6)$$

Горбыль  $Grс$  состоит из горбыля  $Gr$  и двух симметричных относительно плоскости  $YOZ$  частей отструга (часть  $D_1D_8D_9D_{11}D_{10}$  на рис. 4). Следовательно, объем  $V_{Grс}$  горбыля  $Grс$  можно рассчитать как:

$$V_{Grс} = V_{Gr} + 2 \left( \int_{x_{отс}}^{\frac{d_k}{2} - \frac{d_b}{2} + x_{отс}} \int_{\frac{1}{2}\sqrt{d_b^2 - 4x_{отс}^2}}^{\frac{1}{2}\sqrt{d_k^2 - 4\left(\frac{d_k}{2} - \frac{d_b}{2} + x_{отс}\right)^2}} \int_0^{L - \frac{2L(x-x_{отс})}{d_k - d_b}} dz dy dx + \right. \\ \left. + \int_{x_{отс}}^{\frac{d_k}{2} - \frac{d_b}{2} + x_{отс}} \int_{\frac{1}{2}\sqrt{d_k^2 - 4\left(\frac{d_k}{2} - \frac{d_b}{2} + x_{отс}\right)^2}}^{\frac{1}{2}\sqrt{d_b^2 - 4x_{отс}^2}} \int_0^{H - \frac{2H}{d_k}\sqrt{x^2 + y^2}} dz dy dx \right). \quad (7)$$

Используя выражения (4), (6) и (7), по формуле (5) вычисляется объем  $V_{отс}^{сб}$  отструга. В зависимости от того, используется или нет сбеговая зона при раскрое кряжа параллельно сбегу, определяется выход шпона  $V_{шпн}^{сб}$  с учетом отходов на отструг. Если сбеговая зона кряжа используется, то выход шпона рассчитывается как:

$$V_{шпн}^{сб} = \frac{\pi L}{12} (d_b^2 + d_b \cdot d_k + d_k^2) - 2(V_{E_{ук}} - V_L) - V_{отс}^{сб}.$$

Если сбеговая зона не используется, то выход шпона находится по формуле:

$$V_{шпн}^{сб} = \frac{\pi L}{12} (d_b^2 + d_b \cdot d_k + d_k^2) - 2V_{E_{ук}} - V_{отс}^{сб}.$$

В результате процент выхода строганого шпона можно рассчитать по формулам:

$$Pr_{вхд}^{oc} = \frac{V_{шпн}^{oc}}{V_{ук}} \cdot 100, \quad Pr_{вхд}^{сб} = \frac{V_{шпн}^{сб}}{V_{ук}} \cdot 100,$$

где  $Pr_{вхд}^{oc}$  – процент выхода шпона при раскрое кряжа параллельно оси;  $Pr_{вхд}^{сб}$  – процент выхода шпона при раскрое кряжа параллельно сбегу,  $V_{ук}$  – объем усеченного конуса  $A_{ук}$  высотой  $L$  с диаметрами верхнего и нижнего оснований соответственно  $d_k$  и  $d_b$ .

Объем  $V_{ук}$  вычисляется по формуле:

$$V_{ук} = \frac{\pi L}{12} (d_b^2 + d_b \cdot d_k + d_k^2).$$

Результаты расчетов выхода строганого шпона, полученные с применением разработанной методики, приведены в таблицах 1 – 2. Для выполнения расчетов были приняты следующие исходные параметры: вершинный диаметр кряжа –  $d_b = 50$  см; длина –  $L = 3$  м; минимальная ширина шпона по ГОСТ 2977-82 (с учетом припуска на обработку 15 мм)  $t_{min} = 75$  мм, минимальная длина шпона  $l_{min} = 40$  см; толщина отступа в вершинной части при раскрое кряжа параллельно оси –  $h_{отс} = 30$  мм; при раскрое параллельно сбегу –  $h_{отс} = 20$  мм.

Таблица 1

Выход шпона с использованием сбеговой зоны кряжа

| Сбег, см/м | Выход шпона с использованием сбеговой зоны при раскрое |        |                         |        |
|------------|--|--------|-------------------------|--------|
|            | параллельно оси кряжа                                  |        | параллельно сбегу кряжа |        |
|            | м <sup>3</sup>   | %      | м <sup>3</sup>          | %      |
| 0,5        | 0,559  | 92,057 | 0,564                   | 92,939 |
| 1,0        | 0,574  | 91,803 | 0,570                   | 91,123 |
| 1,5        | 0,589  | 91,489 | 0,575                   | 89,322 |
| 2,0        | 0,604  | 91,128 | 0,580                   | 87,540 |
| 2,5        | 0,619  | 90,733 | 0,585                   | 85,782 |
| 3,0        | 0,633  | 90,309 | 0,590                   | 84,050 |
| 3,5        | 0,648  | 89,864 | 0,594                   | 82,347 |
| 4,0        | 0,663  | 89,401 | 0,599                   | 80,674 |

Таблица 2

Выход шпона без использования сбеговой зоны кряжа

| Сбег, см/м | Выход шпона без использования сбеговой зоны при раскрое |        |                         |        |
|------------|---|--------|-------------------------|--------|
|            | параллельно оси кряжа                                   |        | параллельно сбегу кряжа |        |
|            | м <sup>3</sup>  | %      | м <sup>3</sup>          | %      |
| 0,5        | 0,558   | 91,958 | 0,564                   | 92,938 |
| 1,0        | 0,572   | 91,563 | 0,570                   | 91,121 |
| 1,5        | 0,586   | 91,078 | 0,575                   | 89,320 |
| 2,0        | 0,600   | 90,527 | 0,580                   | 87,538 |
| 2,5        | 0,613   | 89,924 | 0,585                   | 85,780 |
| 3,0        | 0,626   | 89,280 | 0,590                   | 84,047 |
| 3,5        | 0,639   | 88,603 | 0,594                   | 82,343 |
| 4,0        | 0,652   | 87,901 | 0,599                   | 80,670 |

Все вычисления проводились в математическом пакете «Mathcad 14». Графическая иллюстрация приведенных в таблицах 1 и 2 данных представлена на рисунке 5.

Анализ результатов расчета выхода шпона показывает:

1) использование сбеговой зоны при раскрое параллельно оси кряжа позволяет увеличить выход строганого шпона при принятых выше допущениях и изменении сбega от 0,5 до 4,0 см/м на 0,1 – 1,5 %;

2) использование сбеговой зоны при раскрое кряжей параллельно сбегу не влияет на выход шпона;

3) выход шпона в случае раскроя кряжа параллельно сбегу превышает на 0,9 %



соответствующий показатель выхода при раскросе параллельно оси, если сбега составляет 0,5 см/м. При остальных значениях сбега (от 1 до 4 см/м), напротив, выход шпона при раскросе параллельно оси превышает соответствующие показатели выхода при раскросе параллельно сбегу (на 0,7 – 8,7 %), причем эта разница увеличивается с ростом сбега кряжа. Характер такого изменения выхода шпона при раскросе параллельно сбегу связан с более быстрым ростом объема отструга при увеличении сбега. При изменении сбега от 0,5 до 4,0 см/м объем отструга в случае раскроса параллельно сбегу увеличивается в 3 раза быстрее, чем при раскросе параллельно оси.

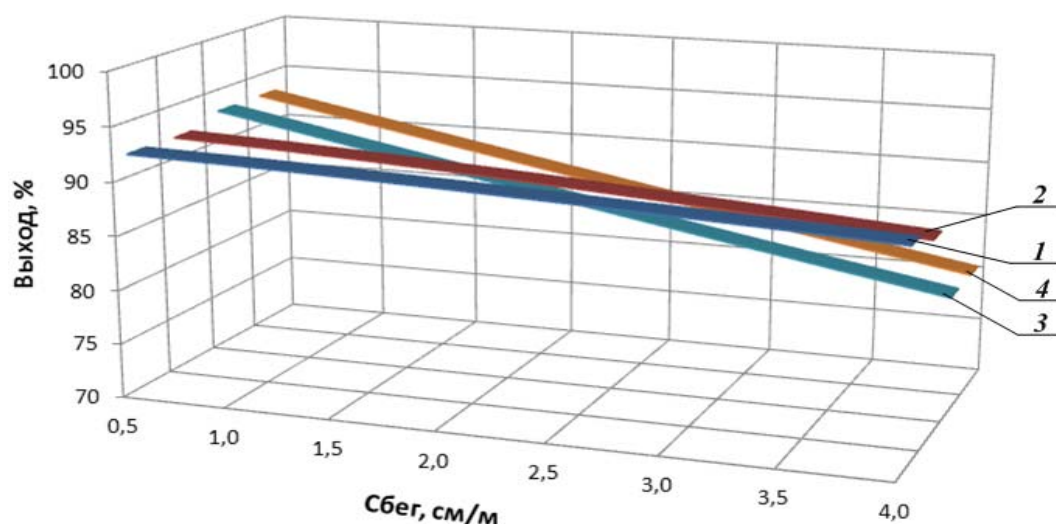


Рис. 5. Выход шпона при раскросе кряжа параллельно:

- 1, 2 – оси кряжа соответственно с использованием и без сбеговой зоны;  
3, 4 – сбегу кряжа соответственно с использованием и без сбеговой зоны

Следовательно, при раскросе по сбегу необходимо стремиться к использованию сырья, имеющего сбег до 1 см/м, и выбору технологий и оборудования, позволяющих получать отструг с минимальной толщиной.

Предложенное аналитическое решение с соответствующим программным обеспечением, позволяет точно и быстро определять объемы древесного сырья и его частей, достаточно сложных по форме, и может быть использовано в технологических расчетах по определению выхода строганого шпона при различных схемах продольного раскроса кряжей.

## Список литературы

- [1] Исаев, С. П. Аналитическое решение и методика расчета выхода строганого шпона при использовании сбеговой зоны кряжа / С. П. Исаев, Н. О. Бегункова, О. И. Бегунков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2013. – Вып. 202. – С. 137 – 147.

*E-mail:*

Бегункова Н. О. – [natali-beg@mail.ru](mailto:natali-beg@mail.ru)

Исаев С. П. – [isaevsp@pnu.edu.ru](mailto:isaevsp@pnu.edu.ru)

Бегунков О. И. – [olegbeg@mail.ru](mailto:olegbeg@mail.ru)